

# 工程机械数字液压新突破

## New breakthroughs of construction mechanical in digital hydraulic

本刊记者 吴学松

我国工程机械高端液压件长期依赖进口，致使工程机械行业发展长期受制于人，大部分利润被进口液压件所吞噬。更为严重的是，这些进口液压件主要依赖于国外一两家公司，影响到工程机械行业的自主创新，甚至关系到工程机械的产业安全，同时也影响到液压行业的发展。因此，解决工程机械高端液压件长期依赖进口是“十二五”期间的重要任务之一。

国外液压技术经过上百年的发展，尤其是伺服液压技术和比例技术的出现，已经变得十分完善而庞大。但也必须看到，液压技术近20年没有突破性进展，年年的PTC展览，几乎都雷同，这意味着现有的液压技术几乎走到了尽头。难怪有专家预测，在可见的将来，液压技术不会有重大突破！

### 突破来自数字液压技术

21世纪，已经是计算机技术、数字技术、信息技术的时代，液压技术必然要与计算机技术相结合，这才是发展方向。世界上数字液压技术已走过40多年了，几个主要制造业强国，对数字液压都有所研究。北京亿美博科技有限公司总工程师杨世祥研发的数字液压与国外的数字液压相比，已取得了不同凡响的成功。

本刊记者日前在北京采访了杨世祥教授。杨教授难掩激动地说：我们可以自豪地说，传统液压能做到的，我们都能做到，并且可以做

得更好。传统液压做不到的许多领域，我们也能做到了。这就是中国人的骄傲和自豪。

杨教授40年前就敏锐地看到，数字技术只有实现终端（油缸、油马达、油泵）全程数字化，才能真正体现数字技术在液压中的优势，那种将元件数字化的研究不可能获得进展。常言道：思路决定出路。几十年来，杨教授专心研究全程数字液压技术，到目前为止，开发出了包括各种控制精度的数字缸、各种大小的数字油马达、各种油缸内置数字传感器、各种流量的数字伺服阀、专用的数字智能控制器等，已全面覆盖了传统液压的几乎所有应用领域，其核心发明专利多达十项以上，相关专利多达数十项。

杨世祥教授领衔的北京亿美博科技有限公司推出的系列数字液压产品，完全不同于传统的以阀为研究对象的数字液压产品，是将传统液压最尖端的伺服液压变成了极为简单的傻瓜液压，在全世界第一个实现了高端伺服液压的免调试，这种全程数字液压技术彻底改变了传统液压的面貌。液压变成了只是携带能量的载体，将控制交给电、将功放交给液压的理想目标将能实现。这种全程数字液压已经在水电、冶金、机械、石油、军工等领域应用成功，有的已经无故障运行了十年，表现出大大超越传统液压技术的水平。中国第二、世界第三大水电站——溪洛渡电站77万kW的13号机组7月15

日圆满完成72小时试运行后，正式投产并网发电，该水轮发电机组即应用了杨氏数字液压技术（代替德国力士乐技术）。数字液压技术的巨大进步必将带来液压技术的革命并将整合液压产业。

### 全程数字液压挖掘机正在试制

从2012年开始，杨世祥迈出了进军工程机械行业的步伐，首先选定进入的是液压挖掘机。因液压挖掘机是应用液压技术最广、技术水平要求最高的工程机械机种。因此，只要在挖掘机上成功实现全程数字液压，在工程机械行业全面推广数字液压技术就容易多了。

杨世祥在挖掘机上的研发进展十分迅速。取代挖掘机多路阀的数字液压阀及缸已研发试制成功，数字变量液压泵及数字变量液压马达设计也全部完成，正与合作伙伴一道进行试制。不久，全程数字液压挖掘机样机即将试制成功，并投入作业试验。图1是杨世祥设计完成的全程数字液压挖掘机系统图。

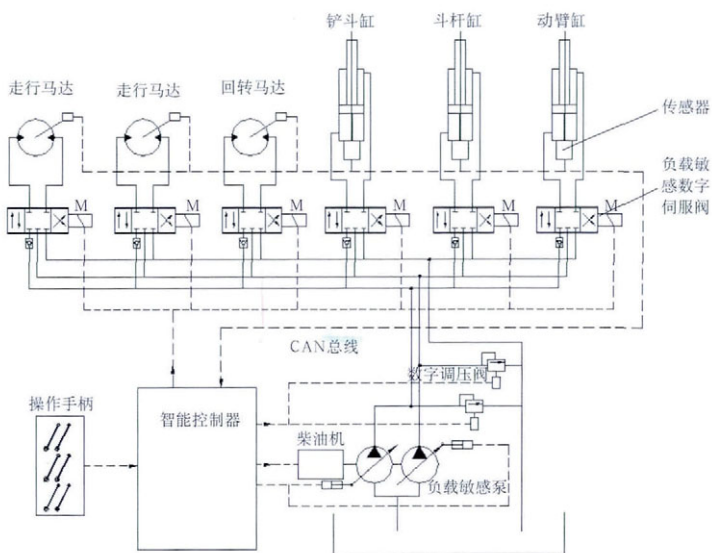


图1 全程全数字液压挖掘机系统图

该全程数字液压挖掘机系统单缸、多缸、低负载、高负载、分流、合流等都是自动完成的，操作手只需操纵电子手柄，每个执行油缸或油马达都按照所要求速度工作，完全不受负

载大小影响，即使偶有操纵失误，计算机也能自动纠正，不会出现超负荷运行引起故障或死机。

所有油缸或油马达完全受控于操作手柄，当逐渐推动手柄，动作即逐渐加速，当手柄定在某个位置，油缸或油马达恒速，当慢慢拉回手柄时就实现了逐渐减速。如果在软件上增加了防超速功能，即使操作手猛然操作，也会采用最高的容许速度实现加减速，不会带来冲击。

由于油马达转速不受负载大小影响、完全精确受控，所以只要操作手发出左右轮不同的速度信号，就可以完成走直线或任意转弯控制。当下坡时，速度也完全受控，不会出现危险的溜车。

杨教授介绍：我们发明的负载敏感数字伺服阀是一个全功能阀，它与臂架、油马达或油缸上的传感器组合，构成全闭环系统，完成任意要求控制。该阀不像传统伺服阀那样娇气，需要高精度过滤液压油，该阀具有极强的抗污染和抗干扰能力、它的内部结构又特别简单，不需超精密机床加工，一般的数控机床足矣。它的内部通道特别少，无需任何铸件，只用普通钢材和少量耐磨合金钢，没有任何制造和原材料难度。而系统的功能都是由软件完成的，如分流、合流、负载敏感、节能控制、泵的分功率控制、总功率控制、交叉控制、PQ（压力流量双跟随）控制、臂架优先、旋转优先、速度控制、位置控制、复合控制；油马达的加减速控制、制动控制、防溜车控制、直线行走控制、转场高速行走控制等等，统统都是依靠软件用6个阀完成。这样，泵只要满足高压和使用寿命即可，现有许多液压件厂如山东常林、北京华德等多家液压件厂的泵都能满足要求；液压马达也没有了专门的、特别小型化和阀件必须集成在马达上的特殊要求，只需普通高压马达满足寿命要求和压力要求即可，这在国内也不难解决。至于最难解决的多路阀，由于采用了数字敏感伺服阀，就没有了复杂的多路阀

系统设计、阀体设计，完全绕开了铸造环节，阀体是普通优质钢就能满足40MPa高压要求，阀芯和阀套采用高耐磨合金钢解决了寿命问题，也解决了失效变形问题。



杨世祥  
杨氏数字液压技术发明人

由于没有复杂的通道解决了清洗问题，也解决了加工难度问题，由于元件少，故障率必然低，也解决了可靠性问题（我们在海军核潜艇六自由度模拟器无故障运行10年以上、大连钢厂棒材连轧线10年无故障运行、大型水电站水轮机筒形阀控制系统等等多个重大工程项目获得可靠性明证），安装调试更为方便，真正实现了多快好省的目标。不但突破了外国的技术封锁，而且超越了国外水平，实现了跨越式发展，并拥有完全知识产权。

杨教授说：数字液压系统是完全数字化和信息化的，其中核心元件——数字敏感伺服阀是采用全数字控制的，它可以与现代数字技术、计算机技术、信息技术完全融合，能与近代控制领域的所有最新技术无障碍嫁接，其操作手柄又是采用电子模拟手柄，操作轻松灵活。整个系统的过程包括油泵功率控制、柴油发动机控制、油马达走行控制、旋转控制、油缸速度控制和位置等等，都处于时时在线监控中，这些信号都可以采集进入计算机，既可以进行全程监控和故障监控，又可以进行通讯或复现，因此，本系统为挖掘机实现远程控制、无线控制、示教控制、无人控制奠定了物质基础。又由于数字伺服阀具有负载敏感功能，能够感知负载大小，计算机时时控制泵的输出能量，满足负载要求，实现最大限度的节能目标，因而全面超越现在国外的挖掘机性能。目前，我们已经完成了120L/min负载敏感阀的试验，性能全部满足要求，240L/min的负载敏感数字伺服阀设计和系统设计已经完成。类似的

小流量数字伺服阀已经在军工领域的科研项目中获得成功应用。

采用杨氏全程数字液压技术的22t挖掘机已经进入样机试制阶段，接下来将做性能试验和工业考核，如果顺利，世界首台全程数字液压挖掘机有望于不久问世。

图2是流量240L/min的负载敏感数字伺服阀透明图和22t挖掘机六联装阀组安装图，该阀组可以满足22t挖掘机的所有要求。其中3个阀控制3只动臂油缸，另外3个阀控制3个油马达，配合电子手柄和控制软件，系统就能实现现有挖掘机的所有功能，软件升级后就能实现远程控制 and 示教控制等要求。

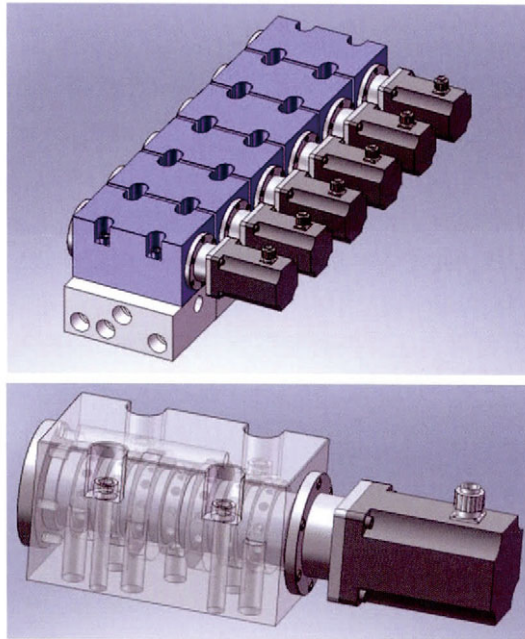


图2 五位五通数字敏感伺服阀外形图

### 专家评述

柳工原副总工程师、工程机械行业资深专家刘良臣先生长期关注国内外液压技术发展，从2012年开始对杨氏全程数字液压产生浓厚兴趣，更加关注该技术在工程机械产品中的应用。刘良臣向本刊记者介绍：典型的液压挖掘机传统液压系统比杨世祥团队的全程数字液压系统要复杂得多。杨氏挖掘机全程数字液压系统的最简单之处，首先在挖掘机的主控阀。挖掘机液压系统中的主控阀，可以说是整台挖掘

机中结构最复杂，也是制造难度最大的一个元部件。仅该阀的铸造毛坯件，到目前为止，中国已举全国铸造之力，还有些问题仍未完全得到解决，与世界先进水平还有一定的差距。其它难度之大就更不用说了，可以说该阀是中国到目前为止，进入挖掘机传统液压核心元部件最大的一只拦路虎。

图3是杨氏4联装全程数字液压阀组，它每一个单独的阀其结构是完全一样的，通用性极强，几乎可用到各个不同的液压领域，只是根据不同的情况作不同的组合，用在挖掘机上一般用6~8联阀组即可。从图3中看，该阀实在是太简单了，生产制造比挖掘机传统液压主控阀要简单数十倍，制造非常容易，一般普通设备就能完成制造。杨氏全程数字液压阀结构简单，制造容易，因此成本特别低廉，而且性能也更加先进。同时，该阀不但能在更高水平上完成传统液压主控阀的所有功能，而且还具有智能化的自动识别负载大小，并自动接通高低能源，实现负载跟踪和能量分流与合流功能。该阀操作控制也极为简便，其操作性能比操纵傻瓜相机还更容易。再有，该阀的控制精度、响应速度及节能降耗等均是传统液压主控阀无法比拟的。

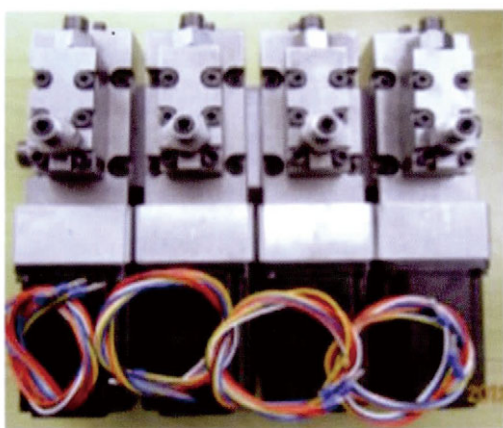


图3 杨氏全程数字液压阀组

挖掘机最核心的液压主控阀元部件实现了全程数字化，可以说是用水平更高、性能更好、成本最低、结构最简单的方式解决了挖掘机核心液压元部件中最困难、最昂贵、最复杂

的问题。因此，杨氏挖掘机全程数字液压阀与挖掘机的传统液压主控阀完全是两种不同的思维方式，两种不同的概念。杨氏挖掘机全程数字液压阀是一种高水平的创新，是一种技术上的伟大革命。杨氏全程数字液压阀在中国挖掘机上的成功应用，就等于搬掉了挡在中国实现挖掘机及工程机械强国之梦的一只最大的拦路虎，也就攻破了最后的最大壁垒。

杨氏22t液压挖掘机全程数字液压系统，其核心元部件除数字液压阀外，还有数字液压泵、数字液压马达、数字液压缸等。数字液压泵及数字液压马达比传统的变量液压泵及变量液压马达结构也要简单得多，因减少了装于内部的各种复杂的控制阀，取而代之的是结构十分简单的数字传感器。因此，数字液压泵及数字液压马达与传统的变量液压泵及变量液压马达相比，就像数字液压阀与挖掘机传统液压主控阀相比一样，结构简单、制造容易、成本低廉、故障率低、质量及可靠性高，而比传统的变量液压泵及变量液压马达在性能上还要高出一个数量级。油缸二者变化不大，在传统油缸上内置或外置一个结构十分简单的数字传感器即可。

可以预计，工程机械全程数字液压时代即将到来。

## 结 语

工程机械传统液压技术已走过了上百年的历史，到目前已经发展到了炉火纯青的阶段。系统及元部件之复杂程度已无可复加，进入门槛之高已很难逾越，传统液压技术已经走到了极难掌握的复杂程度。近几年来，中国已倾全国之力，投入数百亿元，掀起了振兴中国工程机械液压技术的浪潮，但仍因难度太大而步履蹒跚，效果不佳。因此，传统液压技术在世界上已很难再有创新性的大发展，而中国步其后尘几乎更不可能有大的作为。数字液压技术的出现和巨大进步是液压技术的革命，必将为工程机械行业的技术进步贡献巨大力量。本刊祝愿杨氏全程数字液压技术在挖掘机上应用成功。 ❏